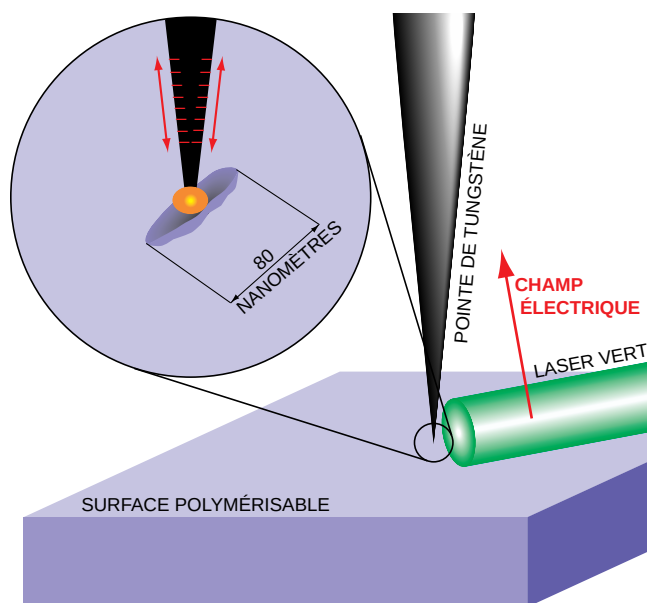




2. Lorsque les physiciens éclairent la pointe métallique d'un microscope à force atomique avec un laser vert, il se crée des ondes évanescentes à son extrémité. Le champ électrique du laser fait alors osciller les électrons du métal. Cette oscillation accroît localement l'intensité des ondes évanescentes (zone jaune) qui sculptent la surface photosensible située sous la pointe en une structure de taille cinq fois inférieure à la longueur d'onde du laser utilisé.

c'est une onde évanescente. Tout se passe comme si, avant d'être réfléchi, l'onde pénétrait légèrement dans le milieu d'indice inférieur.

Effleurant ainsi la matière, cette onde peut durcir un monomère sur quelques nanomètres d'épaisseur. Par exemple, en créant des ondes évanescentes à l'aide d'un prisme, les chercheurs ont construit des couches dont la hauteur ne dépassait pas quatre nanomètres (voir la figure 1).

par réflexion totale sur un prisme, comme précédemment, mais des ondes évanescentes obtenues par diffraction sur un objet de taille inférieure à la longueur d'onde de la lumière. En effet, lorsque un objet diffracte de la lumière, deux sortes d'ondes sont créées : des ondes propagatives dont la longueur d'onde est au plus égale à la moitié de la longueur d'onde initiale et des ondes évanescentes, confinées près de l'objet.

La résolution verticale obtenue est excellente, mais peut-on créer des structures dont la résolution verticale et la résolution horizontale soient inférieures à la moitié de la longueur d'onde utilisée ? Autrement dit, peut-on passer d'une meilleure résolution dans une dimension (la hauteur des couches de polymère), à une meilleure résolution dans les trois dimensions spatiales ?

Des physiciens ont alors eu l'idée de combiner des ondes évanescentes et l'effet de pointe. Dans ce cas, on utilise non pas des ondes évanescentes créées

Quelle est le principe de l'expérience ? L'extrémité d'une pointe de tungstène de quelques nanomètres de diamètre est placée au contact d'une surface polymérisable (un liquide composé d'un monomère et de «photo-initiateurs»). Cette pointe est éclairée avec un laser durant quelques secondes, de sorte que la surface sensible absorbe une énergie inférieure à celle nécessaire à sa solidification. Cet éclairage engendre cependant des ondes évanescentes localisées autour de la pointe. C'est là que l'effet de pointe intervient.

L'éclairage de la pointe métallique par un champ électrique quasi parallèle à l'axe de la pointe et créé par un faisceau laser fait vibrer les électrons de la pointe (voir la figure 2). Comme le diamètre de la pointe est de plus en plus petit à mesure que l'on se rapproche de l'extrémité, la densité spatiale de charges devient très importante au bout de la pointe. Autrement dit, cet effet augmente l'intensité du champ électromagnétique au bout de la pointe, de sorte que celle-ci polymérise la solution sensible très localement.

Grâce à cette amplification des ondes évanescentes, les physiciens ont obtenu de manière reproductible des structures inférieures à 100 nanomètres, cinq fois moins que la longueur d'onde du laser incident (540 nanomètres).

Ainsi, la limite de diffraction n'est plus un obstacle : ce n'est plus la longueur d'onde de la lumière qui importe, mais son confinement. Non seulement les ondes évanescentes serviront à la miniaturisation d'éléments plastiques, mais aussi en optique, en holographie, voire pour des applications jusqu'alors réservée à la lithographie X.

Symbiose de galaxies

Une petite galaxie spirale au cœur d'une galaxie géante.

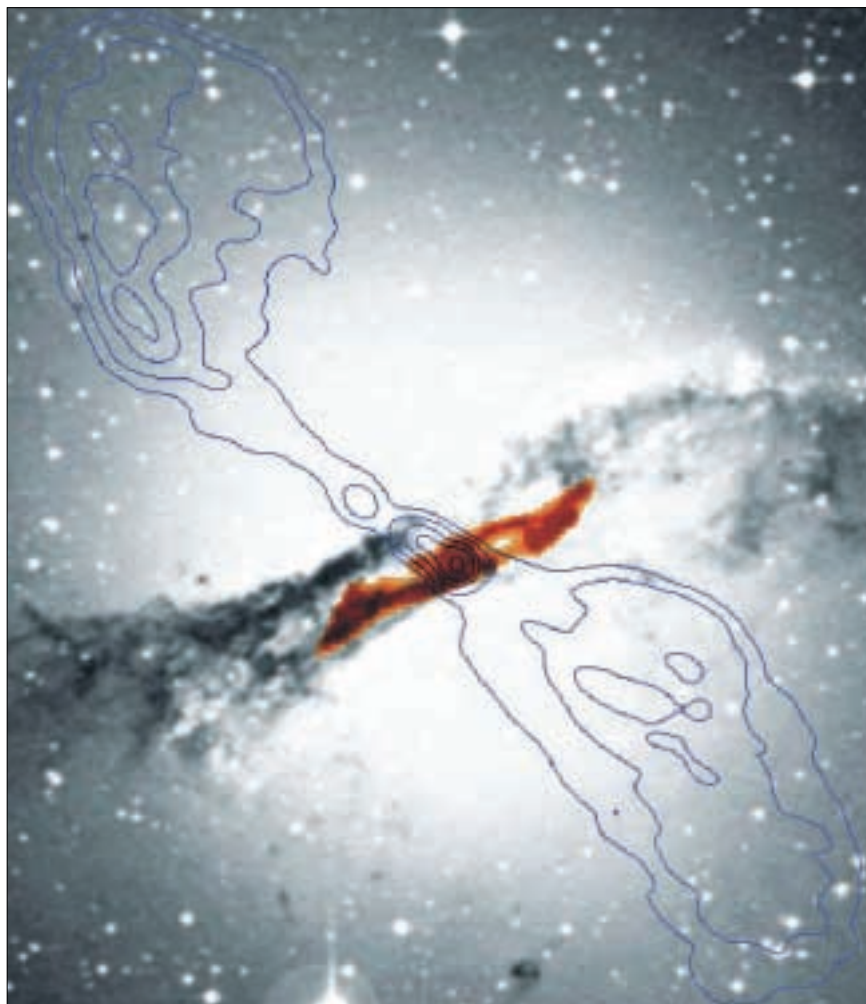
Les radiogalaxies géantes sont des galaxies dont la région centrale, vraisemblablement constituée d'un trou noir massif, a éjecté une grande quantité de matière sous forme de jets. Ces jets émettent un fort rayonnement radio. Les jets de la radiogalaxie Centaurus A sont si étendus que la galaxie a dû éjecter de la matière durant un milliard d'années ! Comment alimenter aussi longtemps le trou noir central ? À l'aide du télescope infrarouge ISO, Félix Mirabel, Olivier Laurent et leurs collègues du CEA ont découvert, au centre de cette radiogalaxie, une galaxie spirale dont

la structure rémanente alimenterait le trou noir.

La caractéristique essentielle des radiogalaxies étendues est la taille des jets. La matière éjectée par Centaurus A s'étend ainsi à près de 500 000 années-lumière de part et d'autre de la région centrale. Cachée par un grand disque de gaz, cette région abriterait un trou noir massif. Aux longueurs d'onde visibles, le disque de gaz absorbe tout le rayonnement, de sorte que l'on ne peut rien distinguer de sa structure interne. Dans l'infrarouge proche (entre un et deux micromètres), l'absorption est moindre, mais l'intense émission des vieilles étoiles de la galaxie elliptique qui entoure le disque de gaz est la seule visible. En revanche, à des longueurs d'onde de l'infrarouge moyen et lointain (entre 5 et 16 micromètres environ), les astronomes observent l'émission du gaz situé à l'intérieur du disque. À

leur grande surprise, ils ont découvert que ce gaz central avait la morphologie d'une galaxie spirale barrée. Les analyses de cette structure ont permis la reconstitution des événements qui ont précédé à la formation de Centaurus A.

Voici des milliards d'années, une galaxie elliptique géante est entrée en collision avec une petite galaxie spirale. Cette dernière a alors été complètement phagocytée, et la matière qui la constituait a formé un disque de gaz et de poussière au centre de la galaxie elliptique. Or, la présence d'une galaxie elliptique autour du disque stabilise ce dernier, tout comme la présence d'un halo autour de notre Galaxie la stabilise. Ainsi, le disque de gaz au centre de Centaurus A est stable depuis des milliards d'années. Dans ce disque, des instabilités ont formé une structure spirale et une barre constituée d'étoiles et de gaz. Cette structure de barre se serait



Félix Mirabel et Olivier Laurent

Cette superposition d'images illustre la structure de la radiogalaxie Centaurus A. Le fond est une image dans le visible où l'on distingue un disque de poussière opaque, au cœur d'une galaxie elliptique. L'émission radio (*c o n t o u r s v i o l e t s*) provient d'électrons éjectés à très grande vitesse par le trou noir central. L'émission infrarouge centrale (*z o n e o u g e*), observée à l'aide du satellite ISO, a

maintenue durant un milliard d'années en raison du déclenchement permanent de nouvelles « instabilités spirales » dans le disque. Grâce à cette barre, une sorte de tuyau d'alimentation géant, la matière des régions externes du disque est transportée vers le trou noir qui l'éjecte en de puissants jets.

Si c'est la première fois que ce mécanisme symbiotique est observé, les astro-

nomes s'interrogent sur son universalité : est-il à l'origine de toutes les radiogalaxies géantes observées ? Les autres radiogalaxies sont malheureusement trop lointaines pour que l'on puisse les utiliser pour répondre à cette question. Seuls des télescopes spatiaux, tel le *NGST* (un super télescope spatial qui sera lancé entre 2007 et 2010), seront en mesure d'apporter une réponse.

La cheville des baleines

Des fossiles identifient-ils les ancêtres des cétacés ?

Les mammifères terrestres, l'espèce humaine comprise, ont un ancêtre commun aquatique qui, un jour, est sorti de l'eau et a conquis la terre ferme. Parmi ses descendants, certains ont pourtant « choisi » de retourner vivre

dans l'eau. Ainsi, les cétacés tels que les baleines et les dauphins ont un ancêtre terrestre.

Les paléontologues ont longtemps cru que les mésonychiens terrestres, aujourd'hui disparus, étaient les ancêtres des mammifères marins. Cependant, des résultats d'analyses d'ADN modifient cette vision en montrant que les artiodactyles (des ongulés marchant sur un nombre pair de doigts, tels les hippopotames, les chameaux et les ruminants actuels) étaient les plus proches cousins des mammifères marins, avec lesquels ils partageraient un